

二次正交旋转回归设计在小菜蛾 饲料配方筛选中的应用

莫美华¹, 庞雄飞²

(1. 华南农业大学食品学院 2. 华南农业大学资源环境学院昆虫学系, 广州 510642)

摘要 应用二次正交旋转回归组合设计方法, 筛选小菜蛾半合成人工饲料配方, 以化蛹率为目标函数建立了二次回归模型, 通过统计寻优获得的优化配方为: 每 100g 人工饲料中, 麦芽 5 g、蔗糖 3.5 g、菜叶粉 5 g、干酪素 3 g、螺旋藻 0.75 g。在温度 24 ~ 26℃, 相对湿度 60% ~ 70%, 光照周期为 13L:11D 的条件下, 用该优化配方饲养小菜蛾, 幼虫期 8.45 d, 蛹期 4.5 d, 初孵幼虫至成虫羽化的历期平均 12.95 d, 化蛹率 74.7%, 羽化率 94.9%, 蛹重 5.14 mg/头, 雌虫平均寿命 9.5 d, 雄虫寿命 13.5 d, 每雌产卵量 135.67 粒。与发芽菜苗饲养相比, 存活率和发育速度无显著差异, 蛹重和产卵量显著增加。该饲料价格低廉, 配制和应用管理方便, 饲养过程中不必更换饲料。

关键词 小菜蛾; 二次正交旋转回归设计; 优化配方

文章编号: 1000-0933 (2007) 07-2935-07 中图分类号: Q143 文献标识码: A

Application of quadratic orthogonal rotation combination design to optimise the semi-synthetic diet of diamondback moth

MO Mei-Hua¹, PANG Xiong-Fei²

1 Food Science College of South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2 Department of Entomology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (7) 2935 ~ 2941.

Abstract : The quadratic-orthogonal-rotation-combination design was used to determine the effects and interactions of the main components (leaf powder of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*), malt powder, sucrose, casein and spirulina) of the semi-synthetic diet of the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.), and a model of the main components and the rate of pupation was constructed and analyzed. The results showed that proportions of Chinese cabbage leaf powder, casein and malt powder influenced the rate of pupation significantly ($p = 0.05$). The optimum proportions of the components were: malt powder 5 g, sucrose 3.5 g, Chinese cabbage leaf powder 5 g, casein 3 g and spirulina 0.75 g in 100 g of diet.

When diamondback moth larvae were reared on this diet at 24 — 26°C, 60% — 70% RH and a 13L:11D photoperiod, the developmental periods of the larvae and pupae were 8.45 days and the 4.5 days respectively and the duration of development from newly-hatched larvae to adult emergence was 12.95 days on average. The rate of pupation was 74.7%, average pupal weight was 5.14 mg, average adult emergence was 94.9%, average longevity of the female adult was 9.5 days, and females laid 135.67 eggs on average. Compared with the control in which the moth was reared on seedlings of

基金项目 广东省自然科学基金资助项目 (980135)

收稿日期 2006-08-14; 修订日期 2007-05-24

作者简介 莫美华 (1966 ~) 女 广西兴安人 博士 副教授 主要从事生态学、微生物学研究. E-mail: mindymo@163.com

Foundation item The project was financially supported by Guangdong Natural Science Foundation (No. 980135)

Received date 2006-08-14; **Accepted date** 2007-05-24

Biography MO Mei-Hua, Ph. D., Associate Professor, mainly engaged in microbiology. E-mail: mindymo@163.com

Chinese cabbage , rates of pupation , developmental of the larvae , adult emergence and the longevity of the adult were not significantly different , but the pupal weight and the averaged eggs laid by females were significantly greater. This diet is cheap of prepare , and the preparation protocol and application of the diet is simple and convenient. The diet does not to be changed during rearing of the larvae and pupae.

Key Words : diamondback moth ; quadratic-orthogonal-rotation-combination design ; larval diet

小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 是十字花科蔬菜的主要害虫 , 因其危害重、抗药性发展快、抗逆能力强等原因成为研究昆虫抗药性、性引诱剂、生理学、病理学、毒理学及防治技术等方面的重要实验昆虫。为了获得大量发育整齐的实验昆虫 , 优化小菜蛾半合成人工饲料配方 , 显得尤为重要。Biever & Boldt^[1] 首先用 Berger^[2] 配制的用于饲养 *Heliothis zea* 和 *H. coresoens* 的饲料饲养小菜蛾 ; 而后 Hsiao & Hou^[3,4,5] 改进了此配方。然而 , 这些饲料都是以麦胚为基础的饲料 , 它们的成分复杂 , 饲养过程中需更换饲料 , 不宜大量养虫。Agui 等^[6] 配制了两种饲养甘蓝粘虫 (*Mamestra brassicae*) 的饲料 , 也可用于饲养小菜蛾。这两种饲料都含有大量切碎的甘蓝叶片而不是干叶粉。加入新鲜的物质可能使饲料的效果因不同制品中叶片的含水量不同而变动 ; 另外在没有新鲜叶片的时候 , 饲料就无法配制。相比较而言 , 干叶粉在冷藏条件下可保存数月 , 对配制饲料比较方便。方菊莲等^[7] 筛选的饲料饲养效果同发芽菜籽相仿 , 饲养过程中不必更换饲料 , 简化了育虫管理工作 , 但饲养的小菜蛾化蛹率仅为 54.1%。Ramegowda^[8] 用芥菜饲养小菜蛾 , 幼虫历期很长 , 平均为 29.86d。为了得到饲养管理方便 , 化蛹率高的配方 , 本文选用菜心 (*Brassica chinensis*) 干叶粉为主要原料 , 应用二次正交旋转回归设计方法对饲料配方进行了优化。

1 材料与方法

1.1 试验材料

- (1) 虫源 从田间采回蛹和成虫 , 经室内发芽菜苗饲养一代后 , 采集成虫产卵作为试验虫源。
- (2) 菜叶粉 于自己种植的田间采集菜心 (*Brassica chinensis*) 叶片 , 洗净 , 晾干后置 60℃ 烘箱中烘烤 , 干燥后用植物组织粉碎机磨成粉 , 过 80 目筛 , 装于广口瓶中备用。
- (3) 麦芽粉 市售麦芽 , 60℃ 烘箱中烘烤 , 干燥后用植物组织粉碎机磨成粉 , 过 80 目筛 , 装于广口瓶中备用。
- (4) 韦氏盐和维生素混合液的配方参考文献^[7] , 防腐剂采用尼泊金 , 饲料的基本成分见表 1。

表 1 饲料的基本成分
Table 1 Components of the diet

组分 Components	含量 Contents (g)	组分 Components	含量 Contents	组分 Components	含量 Contents (g)
麦芽粉 Malt powder	3.0	维生素混合液 Mixture of vitamin	1.0ml	韦氏混合盐 Mixture of salt	1.0
蔗糖 Sucrose	3.5	10% 氯化胆碱 Choline chloride	1.0ml	琼脂 Agar	2.0
菜叶粉 Leaf powder	3.0	4M 氢氧化钾 KOH	0.5ml	尼泊金 Nipagin	0.15
干酪素 Casein	3.0	抗坏血酸 Vitamin C	0.4g	蒸馏水 Water	
螺旋藻 Spirulina	3.0	胆固醇 Cholesterin	0.5		

1.2 试验方法

1.2.1 饲料配制方法

蔗糖溶解于 20 ml 水中 , 再加入尼泊金、氯化胆碱、维生素混合液、氢氧化钾 , 充分搅拌使其溶解。各成分含量见表 1。

称取麦芽粉、干酪素、菜叶粉、螺旋藻、胆固醇、韦氏混合盐 , 充分搅拌 , 倒入上述溶液中。

琼脂加入剩余的水中 , 让饲料总量为 100 g , 煮熔 , 沸腾后倒入混合物中 , 充分搅拌 , 蒸 15min , 取出冷至

60℃ ,加入抗坏血酸 ,拌匀 ,趁热分装于饲养器中 (果冻杯或塑料盒) ,待其充分冷凝后置于冰箱内 (1 ~ 4℃)贮藏待用。

1.2.2 小菜蛾的饲养方法

幼虫 饲养用的器皿为果冻杯或塑料盒 ,杯口用保鲜膜封口 ,用橡皮筋扎紧 ,保鲜膜上用昆虫针均匀扎孔 ,孔间距为 1 cm 左右 ,待器皿壁上和饲料表面的水气消失后 ,接入经消毒的卵或用毛笔接入初孵幼虫。小杯接卵 10 粒或初孵幼虫 10 头 ,大杯接卵 100 粒或初孵幼虫 100 头。老熟幼虫在保鲜膜上或果冻杯壁上化蛹 ,及时收取。

成虫和集卵 羽化的成虫放入养虫笼中 (30cm × 20cm × 15cm) ,笼中用图钉钉上蘸有 10% 葡萄糖液的棉球 ,在笼内挂一装有菜芯叶片的薄膜袋 ,袋上插有小孔 ,让成虫在袋上产卵 ,每天更换薄膜袋以收集卵。或笼中放一盆发芽菜籽 ,让成虫在菜苗上产卵 ,卵孵化后用毛笔接入饲料中。

饲养条件 在人工气候箱中饲养 ,温度为 24 ~ 26℃ ,相对湿度 60% ~ 70% ,光照周期为 13L:11D。

1.2.3 小菜蛾半合成人工饲料优化配方筛选的实验设计及统计分析

选择麦芽粉、干酪素、蔗糖、菜叶粉、螺旋藻作为参试因子 ,参试因子的水平及编码见表 2。饲料中其它组分的含量如表 1。人工饲料组分影响模型的建立 ,是根据系统分析的观点采用五因子 (1/2 实施)二次正交旋转回归组合设计表 (表 3)。每一参试因子的水平编码为 - 2 , - 1 , 0 , 1 , 2 ,因子的取值采用线性变换。目标函数为化蛹概率。试验基本步骤详细叙述见丁希泉^[9]。整个试验设 36 个饲料配方组合 ,包括中心点 (即编码 0 水平)的 10 个重复。中心点的重复变异作为试验误差用于结果的统计分析。以自己种植的新鲜菜心叶片饲养的小菜蛾为对照 ,每天更换两次叶片。整个试验重复 3 次。

表 2 因素水平编码
Table 2 Encode factor and level (g/100ml)

水平 Level x_i	麦芽粉 Malt powder x_1	蔗 糖 Sucrose x_2	菜叶粉 Leaf powder x_3	干酪素 Casein x_4	螺旋藻 Spirulina x_5
-2	1.0	1.5	1.0	0	0
-1	2.0	2.5	2.0	1.5	1.5
0	3.0	3.5	3.0	3.0	3.0
1	4.0	4.5	4.0	4.5	4.5
2	5.0	5.5	5.0	6.0	6.0
$X_i =$	$(N_1 - 3.0)$	$(N_2 - 3.5)$	$(N_3 - 3.0)$	$2/3 (N_4 - 3.0)$	$2/3 (N_5 - 3.0)$

2 结果与分析

2.1 人工饲料不同组分与小菜蛾化蛹率关系模型的建立

按试验设计不同组分的人工饲料配方饲养小菜蛾的结果如表 3。

根据表 3 的结果 ,建立的五元二次回归方程描述了不同组分与化蛹概率的关系 :

$$Y = 0.6833 + 0.0554x_1 + 0.0321x_2 + 0.0771x_3 + 0.1404x_4 + 0.0013x_5 - 0.0231x_1x_2 + 0.0581x_1x_3 - 0.0306x_1x_4 - 0.0019x_1x_5 + 0.0044x_2x_3 - 0.0094x_2x_4 + 0.0169x_2x_5 - 0.0031x_3x_4 - 0.0894x_3x_5 + 0.0519x_4x_5 - 0.0311x_{12} + 0.0799x_{22} - 0.0286x_{32} - 0.0899x_{42} - 0.0549x_{52}$$

回归方程的检验结果显示 :失拟性检验 $F_1 = 2.5273 < F_{0.1}(6, 9) = 2.55$,表明无失拟因素影响。显著性检验 $F_2 = 6.7726 > F_{0.01}(20, 15) = 3.37$,达到 0.01 的显著水平。这说明此方程可信度好 ,能反映出人工饲料 5 种基本组分不同配比与小菜蛾化蛹概率之间的曲面反应。

回归系数 t -检验结果表明 b_4 、 b_2b_2 、 b_4b_4 在 0.01 水平上差异显著 , b_1 、 b_3 、 b_5b_5 在 0.05 水平上差异显著 ,说明人工饲料的 5 种主要成分中 ,干酪素、蔗糖对小菜蛾化蛹概率有极显著影响 ,菜叶粉、麦芽粉和螺旋藻对小菜蛾化蛹概率均有显著影响。在交互项中 b_1b_3 、 b_3b_5 在 0.05 水平上差异显著 ,说明麦芽粉与菜叶粉、菜叶粉

与螺旋藻的交互作用均对小菜蛾化蛹概率有显著影响。方程中的其它各项对小菜蛾化蛹概率影响不显著。

表 3 小菜蛾人工饲料筛选配方试验结构矩阵及结果

Table 3 Experiment scheme of five factors in the rotational combination design						
实验号 Exp. No.	参试因子 Factor					化蛹概率* The rate of pupation
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	
1	-1	-1	-1	-1	1	0.15
2	-1	-1	-1	1	-1	0.30
3	-1	-1	1	-1	-1	0.22
4	-1	-1	1	1	1	0.44
5	-1	1	-1	-1	-1	0.10
6	-1	1	-1	1	1	0.72
7	-1	1	1	-1	1	0.13
8	-1	1	1	1	-1	0.52
9	1	-1	-1	-1	-1	0.13
10	1	-1	-1	1	1	0.59
11	1	-1	1	-1	1	0.30
12	1	-1	1	1	-1	0.68
13	1	1	-1	-1	1	0.28
14	1	1	-1	1	-1	0.21
15	1	1	1	-1	-1	0.54
16	1	1	1	1	1	0.66
17	-2	0	0	0	0	0.48
18	2	0	0	0	0	0.74
19	0	-2	0	0	0	0.31
20	0	2	0	0	0	0.51
21	0	0	-2	0	0	0.41
22	0	0	2	0	0	0.83
23	0	0	0	-2	0	0.10
24	0	0	0	2	0	0.65
25	0	0	0	0	-2	0.65
26	0	0	0	0	2	0.38
27	0	0	0	0	0	0.67
28	0	0	0	0	0	0.76
29	0	0	0	0	0	0.62
30	0	0	0	0	0	0.68
31	0	0	0	0	0	0.61
32	0	0	0	0	0	0.67
33	0	0	0	0	0	0.78
34	0	0	0	0	0	0.59
35	0	0	0	0	0	0.54
36	0	0	0	0	0	0.80

* 化蛹概率 = 蛹总数/接入总卵量 The rate of pupation = Total number pupae/ Total number eggs which being inoculated

2.2 影响化蛹概率的主因子效应

从所建立的回归方程的偏回归系数绝对值的大小可判明因子的重要程度,系数的正负表示因子效应作用的方向。

从线性项看,5种人工饲料组分对化蛹概率的影响从大到小依次为干酪素、菜叶粉、麦芽粉、蔗糖、螺旋藻。其中,干酪素对化蛹概率的影响达到0.01显著水平。麦芽粉和菜叶粉对化蛹概率的影响达到0.05显著水平。从二次项看,5种组分对化蛹概率的影响从大到小依次为干酪素、蔗糖、螺旋藻、麦芽粉、菜叶粉,其中干酪素、蔗糖的影响达到0.01显著水平,螺旋藻的影响达到0.05显著水平。

采用“降维法”,可导出各组分因子对化蛹概率的偏回归解析子模式,求得某一因子在特定条件下的最佳水平。从偏回归子模型(图1)可以看出,麦芽粉、蔗糖、菜叶粉、干酪素、螺旋藻分别在编码值接近或等于

0.89、0.2、1.35、0.78、0.012 时取得最佳值。说明这些组分应选择在适宜的水平 ,含量太多或太少均影响小菜蛾的化蛹概率。

2.3 影响化蛹概率的双因子效应

从交互项系数可以看出 ,麦芽粉、蔗糖、菜叶粉、干酪素、螺旋藻 (x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5) 5 种组分的交互作用 ,除了 x_1 与 x_3 、 x_2 与 x_3 、 x_2 与 x_5 、 x_4 与 x_5 为正效应外 ,其余各组分两两相互作用均为负效应。其中 x_1 和 x_3 、 x_3 和 x_5 的交互效应达到 0.05 显著水平 ,说明麦芽粉与菜叶粉、菜叶粉与螺旋藻的对比对小菜蛾的化蛹概率有显著影响。利用 “降维法 ” ,可以得到偏回归解析子模式。根据偏回归子模式进行交互效应分析 ,所得数据可绘成图 2 ~ 图 4。在图 2 的直观分析中 ,麦芽粉与菜叶粉的配比以 5:5 为最优。在图 2 的直观分析中 ,菜叶粉与螺旋藻的配比以 1:6 为最优。在图 4 的直观分析中 ,干酪素与螺旋藻的配比以 3:4 为最优。

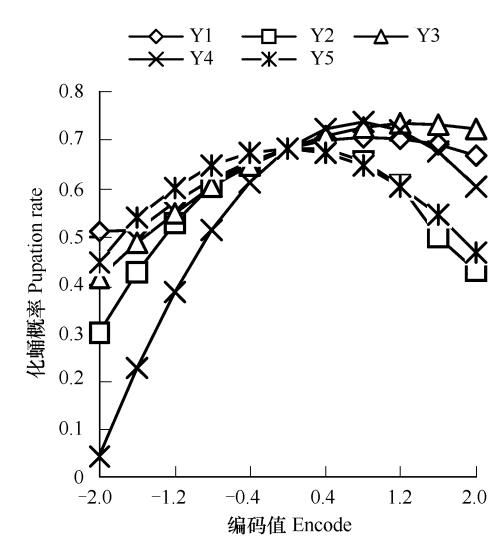


图 1 主因子效应
Fig.1 Main factor effect

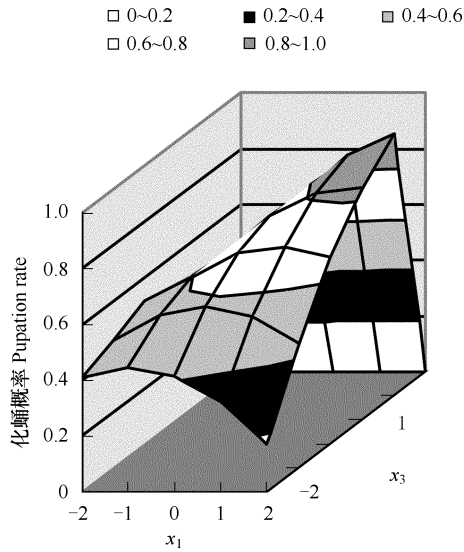


图 2 麦芽粉与菜叶粉双因子效应
Fig.2 Interaction of x_1 and x_3

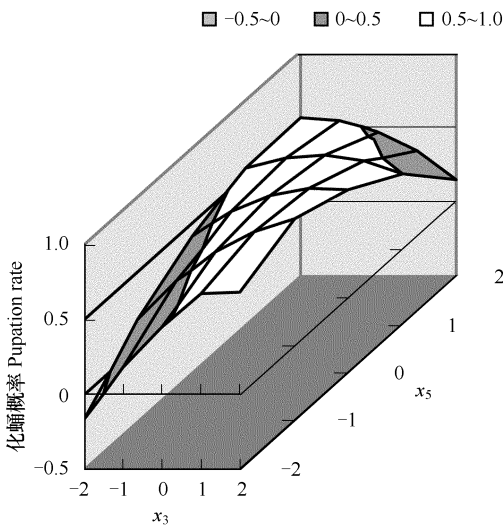


图 3 菜叶粉与藻粉关系
Fig.3 Interaction of x_3 and x_5

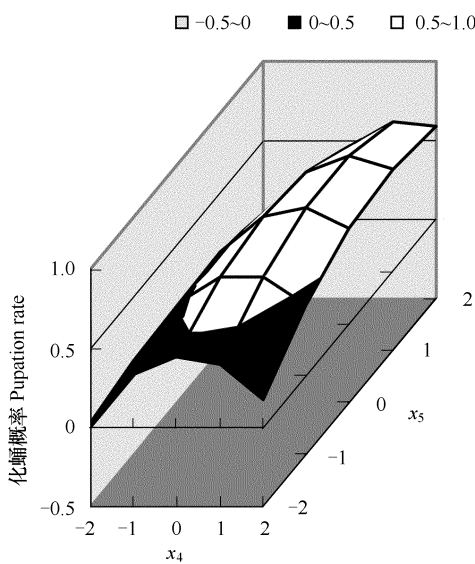


图 4 干酪素与藻粉关系
Fig.4 Interaction of x_4 and x_5

2.4 营养组分的优化

以化蛹概率为指标 ,对 2.1 所建立的模型进行统计寻优。

2.4.1 以变量轮换直接寻优法求得各组分的优化组合 (以步长为 1 时)

$X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (2, 0, 2, 0, -2)$,对应于 100g 饲料中各组分含量 :麦芽粉 5.0g、蔗糖 3.5g、菜叶粉 5.0g、干酪素 3.0g、螺旋藻 0。

2.4.2 频次分析及统计寻优

变量轮换直接寻优法可求出优化配方组合 ,但没有考虑到随机因素 ,在实际生产中是困难的。为此采用计算机对不同设计水平下的组合进行模拟试验 ,从 $5^5 = 3125$ 个组合中 ,获得化蛹概率 >0.85 的方案 14 个 ,其分布如表 4。根据频次分析结果和实际情况取任一值即可得出优化组合 ,现取中值可得出各组分的优化组合:

$X = (\text{麦芽粉}, \text{蔗糖}, \text{菜叶粉}, \text{干酪素}, \text{螺旋藻}) = (4.86, 3.36, 5.00, 3.00, 0.75) (\text{g}/100\text{g})$

表 4 小菜蛾饲料优化配方 (化蛹概率 >0.85)的主要营养成分参数水平的频次分析

Table 4 Frequency analysis of main components in the diet of DBM (The rate of pupation >0.85)					
编码 Encode X_i	麦芽粉 Malt powder X_1	蔗糖 Sucrose X_2	菜叶粉 Leaf powder X_3	干酪素 Casein X_4	螺旋藻 Spirulina X_5
-2	0	0	0	0	7
-1	0	4	0	3	7
0	0	8	0	8	0
1	2	2	0	3	0
2	12	0	14	0	0
频数合计 Frequency	14	14	14	14	14
平均编码 Mean encode	1.86	-0.14	2.00	0	-1.50
标准误 SE	0.09	0.17	0.00	0.17	0.13
95% 置信区间 reliable area					
(上限) Upper limit	1.67	-0.48	2.00	-0.34	-1.76
(下限) Lower limit	2.04	0.19	2.00	0.34	-1.23
对应饲料组合 Content					
(上限) Upper limit	4.67	3.02	5.00	2.49	0.36
(下限) Lower limit	5.04	3.69	5.00	3.51	1.16

根据变量轮换直接寻优法和频次分析及统计寻优求得的各组分的优化组合结果 ,再考虑实际操作的难易 ,得出小菜蛾人工饲料优化配方如表 5。

表 5 筛选的优化配方中各组分含量

Table 5 Contents of components in the optimum medium			
饲料成分 Components	含量 Contents	饲料成分 Components	含量 Contents
菜叶粉 Leaf powder	5.0 (g)	抗坏血酸 Vitamin C	0.4 (g)
麦芽粉 Malt powder	5.0 (g)	10% 氯化胆碱 Choline chloride (ml)	1.0 (ml)
干酪素 Casein	3.0 (g)	韦氏混合盐 Mixture of salt	1.0 (g)
蔗糖 Sucrose	3.5 (g)	4mol/L 氢氧化钾 KOH	0.5 (ml)
螺旋藻 Spirulina	0.75 (g)	琼脂 Agar	2.0 (g)
胆固醇 Cholesterin	0.5 (g)	尼泊金 Nipagin	0.15 (g)
维生素混合液 Mixture of vitamin	1.0 (ml)	蒸馏水 Water	77 (ml)

2.5 人工饲料优化配方的检验

用优化配方 (见表 5)饲料饲养小菜蛾的结果见表 6。从表 6 可知 ,在温度 $24 \sim 26^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $60\% \sim 70\%$,光照周期 13L:11D 的条件下 ,用优化配方饲养小菜蛾 ,初孵幼虫至成虫的历期 12.95d ,化蛹率为 74.7% ,羽化率为 94.9% ,平均蛹重 $5.14 \text{ mg}/\text{头}$,雌虫平均寿命 9.5 d ,雄虫 13.5 d ,每雌平均产卵量 135.67

粒。以发芽菜籽饲养的为对照。对照的初孵幼虫至成虫的历期 13.33 d ,化蛹率 77.4% ,羽化率 93.8% ,平均蛹重 4.4 mg/头 ,雌虫平均寿命 9.0 d ,雄虫 16.5 d ,每雌产卵量 108 粒。整个实验设 5 个重复 ,共 500 头试虫。从表中还可看出 ,饲料养的化蛹率、羽化率、幼虫历期、成虫寿命与发芽菜籽饲养的在方差分析中差异不显著 ,蛹重和产卵量增加。

表 6 优化配方饲养小菜蛾的结果 *
Table 6 The results of feeding DBM used the optimum medium *

饲料名称 Diet	幼虫历期 Larval stage (d)	化蛹率 (%) Pupation rate	蛹重 Pupae weight (mg/20)	羽化率 (%) Adult emergence	产卵量 Laid eggs (No. / ♀)	成虫寿命 Adult longevity (d)
优化配方 Optimal	8.45a	74.7a	102.8a	94.9a	135.67 (85 ~ 173)a	11.5 (♀9.5 ,♂13.5) a
对照 Control	8.83a	77.4a	87.9b	93.8a	108 (64 ~ 130)b	12.75 (♀9.0 , ♂16.5) a

* 表内相同小写字母者 ,表示 Duncan 's 新复极差检验在 $p=0.05$ 水平上 ,差异不显著 Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level according Duncan 's new multiple range test

3 结论与讨论

以往昆虫人工饲料研制的过程多为带有经验性的筛选。本试验在前人经验配方的基础上 ,结合前一部分小菜蛾人工饲料的研究 ,以二次正交旋转组合设计来确定人工饲料组分的对比对小菜蛾幼虫生长的影响 ,获得较满意的结果。该设计具有规范化的设计方案和标准化的计算方法。并能建立研究对象与各种作用因子相互关系的数学模型。回归设计将回归分析法与正交试验法的优点有机地结合起来。一方面选择较少的适当的试验点 ;另一方面 ,应用最小二乘法原理 ,通过实测的数据求出各因子与指标之间的回归方程式 ,并且各回归系数之间彼此是不相关的 ,从而明显地简化了求回归系数的计算。这一设计方法在饲料配方研究上有重要意义。

本试验中 ,以麦芽粉 ,蔗糖 ,菜叶粉 ,干酪素 ,螺旋藻为参试因子 ,并通过二次正交旋转组合设计和模型模拟进行优化 ,使得饲料组分的营养成分和配比都满足了小菜蛾幼虫生长和成虫羽化的需要 ;由于使用了菜叶粉使得饲料更接近自然寄主的营养状况 ,更有利于保持小菜蛾的生物学特性。用该配方配制的半合成饲料 ,小菜蛾幼虫趋食性好。饲养的小菜蛾群体生长整齐 ,发育良好 ,成虫行为正常。另外 ,利用该优化配方饲料饲养小菜蛾 ,简便而实用 ,饲养效率高 ,饲养的小菜蛾的化蛹率、羽化率、幼虫历期、成虫寿命与菜苗养的在方差分析中差异不显著 ,蛹重和产卵量增加 ,这为工厂化生产小菜蛾提供了可能。

References :

[1] Biever K D , Boldt P E. Continuous laboratory rearing of the diamondback moth and related biological data. Ann. Entomol. Soc. Amer. , 1971 , 64 :651 — 655.

[2] Berger R S. Laboratory techniques for rearing *Heliothis* species on artificial medium. USDA ARS (Ser.) , 1963 , 33 — 84.

[3] Hsiao M L , Hou R F. Artificial rearing of the diamondback moth , *Plutella xylostella* (L.) on a semi-synthetic diet. Bull. Inst. Zool. Acad. Sin. , 1978 , 17 :97 — 102.

[4] Hou R F , Hsiao J H. Antimicrobial agents in a semi-synthetic diet for the diamondback moth , *Plutella xylostella* (L.). Plant Prot. Bull. (Taiwan) , 1979 , 21 :251 — 256.

[5] Hou R F , Hsiao M L. An improved diet for rearing the diamondback moth , *Plutella xylostella* , and its requirements for fatty acids. Chinese Journal of Entomology , 1986 , 8 (11) :31 — 37.

[6] Agui N , Ogura N , Okawara M. Rearing of the cabbage armyworm , *Mamestra brassicae*. (Lepidoptera :Noctuidae) and some lepidopterous larvae on artificial diets (In Japanese with English summary). Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. , 1975 , 19 :91 — 96.

[7] Fang J L. Study of semi-synthetic diet for the diamondback moth , *Plutella xylostella* (L.). J. Plant Prot. , 1988 , 15 (3) :167 — 171.

[8] Ramegowda G K , Patil R S , Guruprasad G S , et al. Biology of diamondback moth , *Plutella xylostella* (L.) on mustard in Laboratory. Journal of Entomological Research (New Delhi) 2006 , 30 (3) :241 — 243.

[9] Ding X Q. Agricultural Application Regression Design. Chang Chun :Science and Technology Publishing Company in Jilin , 1986. 276.

参考文献 :

[7] 方菊莲等. 小菜蛾半合成人工饲料研究. 植物保护学报 ,1988 ,15 (3) : 167 ~ 171.

[9] 丁希泉. 农业应用回归设计. 长春 :吉林科学技术出版社 ,1986. 276.